

Universidad de Alicante

INGENIERÍA ROBÓTICA

MAPEADO Y DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS
CON EL ROOMBA

Trabajo teórico

Autores:

Carlos Dorado, Álvaro Martínez y José Carlos Penalva

Enero de 2023

Índice

1. Introducción	2
2. Hardware	2
2.1. Sensor LiDAR	2
2.2. Sensor infrarrojo	3
2.3. Luz Estructurada 3D	4
2.4. Cámara RGB	4
2.5. Otros Sensores	5
3. Software	5
3.1. Mapeado	5
3.2. Detección de objetos	6
3.2.1. Inteligencia Artificial	7
3.2.2. Redes Neuronales.	8
3.3. Algoritmos de Mapeo y Localización	11
3.3.1. LiDAR SLAM	11
3.3.2. VSLAM	12

1. Introducción

El tema escogido es la explicación de como los robots conocidos como Roombarealizan tanto el mapeado, localización y la evitación de obstáculos, además del hardware que usan para ello. Tanto en el título como en la introducción se nombran los robots como Roomba”, sin embargo, este nombre no es característico de este tipo de robot, ya que estos se conocen simplemente como robot aspirador.

En el día a día es raro nombrar estos vehículos autónomos como robot aspiradores, y puesto que los modelos comercializados por la empresa IRobot conocidos como Roomba”, lanzados en 2002, fueron los más famosos cuando se produjo la explosión mediática de estos dispositivos, se les apodó por el nombre de estos modelos. Sin embargo, en este proyecto se hablará sobre las características de los modelos con mejores características sin hablar sobre uno en concreto.

2. Hardware

A la hora de nombrar el hardware se dejarán de lado todos los elementos que no aporten a la hora del mapeado y navegación que son los principales temas que se tratarán. El apartado del hardware es uno de los más importantes a la hora del diseño de cualquier robot, de este depende que la información del entorno sea fiable o no, y en un robot de este tipo como son los robots aspiradores, cuya función es vagar de forma segura en una vivienda, la información del mundo que los rodea es esencial para evitar golpes o caídas con las que dañar tanto la casa como a sí mismos.

2.1. Sensor LiDAR

En primer lugar, de manera similar al turtlebot empleado en el laboratorio, este robot aspirador posee un sensor láser LiDAR, light detection and ranging. El funcionamiento de este tipo de sensores es simple, por un lado se dispone de un emisor de luz infrarroja, el láser, junto con un receptor de esta luz que, en función del tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción del láser calcula la distancia, y por otro lado, un servomotor que hace girar el emisor y receptor para poder abarcar la circunferencia completa o semicompleta.

En el caso de los robots aspiradores suelen tener un haz de luz de 360° , además de que el patrón que siguen es lineal en el plano. La información que se obtiene de este sensor es un vector en el cual en cada posición se encuentran las distancias entre el sensor y el lugar donde el láser ha rebotado, ya sean objetos, paredes o personas.

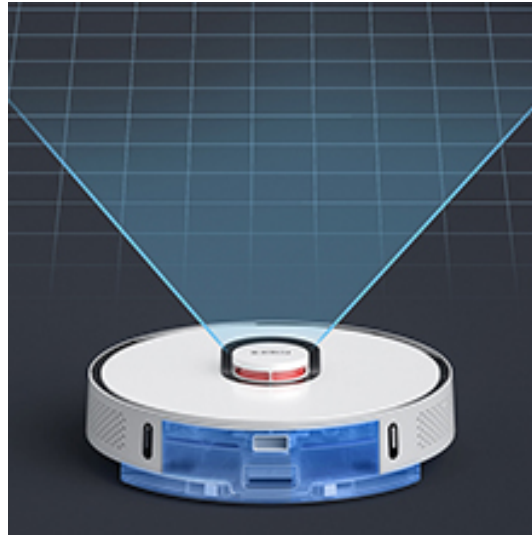


Figura 1: Sensor LiDAR

Sin embargo, utilizando únicamente este sensor la información que se obtiene tan solo es en un plano que se encuentra a la altura a la que el sensor está colocado, por lo que se perdería mucha información del entorno, es por esto que los robots deben disponer de más sensores complementarios.

2.2. Sensor infrarrojo

Con el fin de evitar caídas en escaleras se utilizan sensores infrarrojos con los que detectar cambios en el suelo. El funcionamiento de este tipo de sensores es similar al anterior, con la diferencia de que en lugar de rotar con ayuda de un sensor estos van fijo en la zona inferior del robot, de modo que con ayuda de este se puede detectar cuando la distancia es mayor y por tanto esté cerca de la escalera además, de que en caso de que el material de suelo sea diferente, como por ejemplo, que en el suelo haya una alfombra, que en los robots más modernos permitiría desactivar la función de mopa y fregado.



Figura 2: Sensor de Infrarrojos

2.3. Luz Estructurada 3D

Utilizando un escáner de luz estructurada es posible obtener información en 3D del medio, es por esto que los dispositivos más modernos incorporan esta tecnología. El funcionamiento de esta técnica consiste en proyectar sobre los objetos un haz de luz con un patrón, normalmente de líneas paralelas o una cuadrícula, de modo que este patrón se distorsiona cuando existen superficies rugosas u objetos. Una vez proyectado el patrón y capturada la distorsión del mismo, existen algoritmos capaces de transformar esta distorsión en una nube de puntos 3D.



Figura 3: Luz Estructurada

En el caso de los robots aspiradores la luz que se emplea es invisible al ojo humano, pero esta puede ser captada a través de las lentes de la cámara. Como se puede observar en la figura anterior, el haz de luz se emite desde dos emisores, pudiendo localizar la cámara con la cual captar los patrones entre los dos emisores.

La principal ventaja de utilizar esta tecnología es la posibilidad de poder recibir la información sin realizar contacto con los objetos evitando así dañarlos, además de que permite obtener información a gran velocidad, lo que es muy útil para realizar una navegación y localización en tiempo real.

2.4. Cámara RGB

Por último, en los modelos más evolucionados de robots aspiradores, en lugar de incorporar una cámara que solo permite captar los patrones de la luz estructurada se ha incorporado una cámara RGB con la cual, mediante inteligencia artificial, poder detectar objetos, además de realizarla como cámara de seguridad.

2.5. Otros Sensores

Además de los mencionados anteriormente, existen multitud de sensores menos complejos que vale la pena mencionar. Alrededor de todo el robot existen pequeños sensores de pared, los cuales permiten detectar distancias menores a las del sensor LiDAR, cuyo objetivo es que el robot mantenga una distancia idónea respecto a la pared o a los rodapiés que no suelen ser detectados por los sensores láser ya que estos se encuentran a otra altura.

Por otro lado, por temas de seguridad disponen de sensores de presión con los cuales detectar si están pasando por debajo de lugares poco espaciosos además de poder detectar cuando las ruedas se encuentran en el aire para así inmovilizarlas. Además, con el fin de poder realizar una buena odometría se disponen de sensores con los que poder medir la rotación de las ruedas, e incluso giroscopios y acelerómetros.

3. Software

3.1. Mapeado

En primer lugar vamos a destacar qué es el mapeado de un robot. El sistema de mapeo de un robot aspirador es la capacidad que tiene para reconocer el entorno y tratar un mapa preciso de él. Este mapa sirve para facilitar al robot el proceso de limpieza, evitando obstáculos, permitiendo divisiones por habitaciones y dando al usuario la opción de personalizar el proceso de limpieza.

A través del mapeo, el robot puede optimizar la eficiencia y la ruta de limpieza. Este proceso supone una mejora con respecto a otros robots aspiradores que utilizan el sistema de limpieza aleatorio, sin trazar un mapa concreto.

Por lo tanto, un robot con sistema de mapeo siempre es mejor frente a otro tipo de robot que no lo integra.

Además para poder mapear una zona debemos destacar que existen varias formas de realizar este mapeo deseado, entre las que se encuentran el mapeo por láser, el mapeo por giroscopio y el mapeo con cámara digital.

Actualmente, el sistema de mapeo más preciso y que mejor funciona es el sistema de mapeo láser con tecnología LiDAR. Mediante la tecnología LiDAR se envía un haz de luz láser que rebota en los objetos y vuelve de nuevo al sensor. De esta forma, el láser LiDAR tiene capacidad de medir

el espacio en 360º, optimizando considerablemente el proceso de limpieza, ya que pueden definir dónde están los objetos que encuentran a su paso y evitarlos si es necesario.

El mapeo por giroscopio es el sistema de mapeo más extendido entre los robots aspiradores como el Roomba. Este sistema combina giroscopios con sensores ópticos que permiten realizar el mapeo mediante el movimiento, girando cuando encuentra un obstáculo durante la limpieza. Este tipo de productos, aunque trazan un mapa muy completo, no realizan una limpieza tan precisa y completa como un robot aspirador con mapeo láser.

Por último, vamos a hablar del mapeo con cámara digital, que fue el sistema pionero entre los robots aspiradores. Este sistema funciona con una cámara digital que recoge imágenes del espacio. A través de estas imágenes, el robot elabora un mapa del entorno. Este sistema, aunque en su momento fue pionero, ha quedado anticuado debido a los avances tecnológicos.



Figura 4: Mapeado Roomba

3.2. Detección de objetos

Uno de los novedosos sistemas implementados en los robots aspiradores de alta gama, es la detección de objetos, para ello es necesario incorporar un sistema de cámara dual que, en combinación con un sistema de visión artificial, permite detectar los diferentes objetos que se encuentren en el entorno y poder sortearlos, evitando colisiones, atascos que impidan el movimiento, etc.

Los robots aspiradoras utilizan una combinación de diferentes sensores para detectar objetos en su entorno, como pueden ser sensores infrarrojos, sensores de proximidad, sensores de luz visible y sensores de ultrasonidos. Algunos otros, también pueden utilizar cámaras o sensores láser para crear mapas del entorno y evitar los obstáculos, como se han mencionado anteriormente.



Figura 5: Detectar y esquivar obstáculos.

A este tipo de tecnologías se añade *Inteligencia Artificial* con el objetivo de, no solo detectar, sino que también clasifica el tipo de objeto.

3.2.1. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial es la capacidad que tiene un dispositivo (como un móvil, ordenador o robot) para realizar tareas que generalmente requieren inteligencia humana.

Además, se utiliza para navegar y limpiar de manera eficiente en un espacio dado. Esto se logra mediante el uso de sensores y algoritmos avanzados que permiten al robot mapear su entorno, evitar obstáculos y planificar rutas de limpieza eficientes. También puede aprender y adaptarse a su entorno a medida que limpia, lo que mejora su rendimiento con el tiempo.

Del mismo modo que la inteligencia humana es compleja y múltiple, también lo es la inteligencia artificial, de manera que incluye numerosas áreas de conocimiento que intentan emular distintos aspectos de la inteligencia humana, como la capacidad para percibir, reconocer el entorno

y reaccionar en consecuencia; la capacidad para planificar y resolver problemas; la habilidad para aprender constantemente y adaptarse; las inteligencias social, emocional, musical, y creatividad.

Dependiendo de su nivel de competencia, nos encontramos con 3 tipos de Inteligencia Artificial. Estos tipos de inteligencia son :

- *Inteligencia artificial específica*, que es la que existe hoy en día y que es capaz de hacer muy bien (probablemente mejor que el mejor de los humanos) una tarea o conjunto de tareas previamente acotadas y solamente esas tareas.
- *Inteligencia artificial general*, este tipo de inteligencia posee todas las capacidades y habilidades de los humanos, sin embargo nos encontramos en un punto muy lejano a poder lograr esto.
- *Superinteligencia*, es una IA que superaría la inteligencia humana, esta inteligencia no se puede comprender ya que supera a la inteligencia de los humanos.

Actualmente la inteligencia artificial proporciona una gran cantidad de ayudas como pueden ser, los asistentes de voz, optimización de los procesos productivos, automatización de la industria, vehículos inteligentes y autónomos, ciudades inteligentes, sector financiero, administración pública... También en nuestros asistentes de limpieza como son los Roomba para identificar los objetos mediante el uso de *redes neuronales convolucionales*.

3.2.2. Redes Neuronales.

Una **red neuronal** es un método encargado de enseñar a las computadoras a procesar datos de la forma en que lo hace el cerebro humano. Se trata de un tipo de proceso **machine learning** llamado aprendizaje profundo, que utiliza los nodos o las neuronas interconectados en una estructura de capas que se parece al cerebro humano. Crea un sistema adaptable que las computadoras utilizan para aprender de sus errores y mejorar continuamente. De esta forma, las redes neuronales artificiales intentan resolver problemas complicados, como la realización de resúmenes de documentos o el reconocimiento de rostros, con mayor precisión.

En el caso de los robot aspiradores, las redes neuronales se utilizan a través de la **visión artificial**, encargada de extraer información y conocimientos de imágenes y vídeos. Junto con las redes neuronales, los robots pueden distinguir y reconocer imágenes de forma similar a los humanos. La visión artificial tiene varias aplicaciones, como pueden ser:

- Reconocimiento visual en los vehículos autónomos para que puedan reconocer las señales de tráfico y a otros usuarios del camino.

- Moderación de contenido para eliminar de forma automática los contenidos inseguros o inapropiados de los archivos de imágenes y vídeos.
- Reconocimiento facial para identificar rostros y reconocer atributos como ojos abiertos, gafas y vello facial.
- Etiquetado de imágenes para identificar logotipos de marcas, ropa, equipos de seguridad y otros detalles de la imagen.

Siendo esta última la utilizada en los robots aspiradores, cuya función es etiquetar aquellos objetos detectados y clasificarlos según un pre-entrenamiento de inteligencia artificial mediante redes neuronales, comentado anteriormente.



Figura 6: Detección y clasificación del objeto.

Las redes neuronales Convolucionales están compuesta por varias capas a las que se le aplica un filtro, donde se extraen ciertas características que se vuelven más complejas a medida que profundizan en la red convolucional. Una red neuronal básica tiene neuronas artificiales interconectadas en tres capas:

- Capa de entrada, contiene la información del mundo exterior.
- Capa oculta, analizan la salida de la capa anterior, la procesan y pasan a la siguiente capa.
- Capa de salida, proporciona el resultado final de todo el procesamiento de datos.

Estas capas realizan operaciones matemáticas con el objetivo de extraer características de la imagen obtenida por las cámaras. Las características se obtienen aplicando diferentes filtros reduciendo las imágenes obtenidas de manera que estas se hagan más pequeñas y sean más manejables computacionalmente, reduciendo el número de parámetros necesarios.

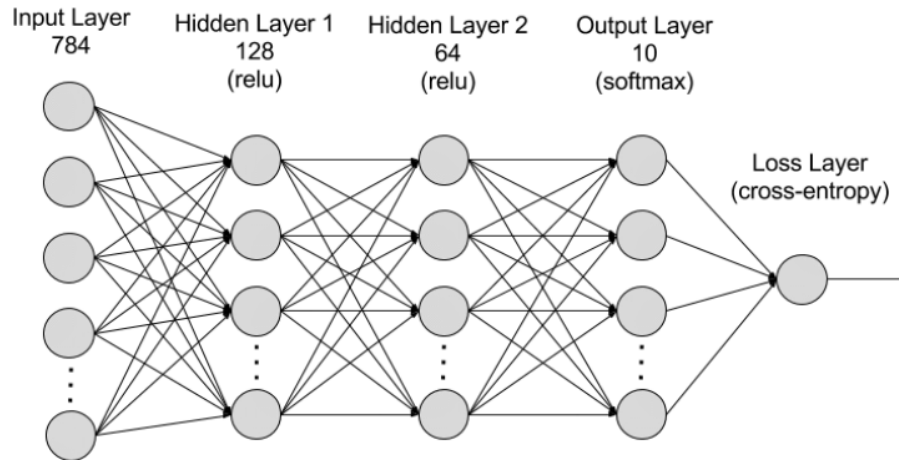


Figura 7: Esquema Red Neuronal Convolutacional.

Una vez explicado que son las redes neuronales, ahora toca explicar como clasifican las imágenes mediante el aprendizaje de patrones, en los que se sigue el siguiente proceso:

1. Recolectar y preparar los datos de entrenamiento: siendo un conjunto de imágenes, que pueden estar etiquetadas o no. Los datos se dividen en dos conjuntos, uno para el entrenamiento y otro para la validación.
2. Configurar la red neuronal: Se establecen los parámetros de la red neuronal, como el número de capas, el número de filtros en cada capa de convolución, etc.
3. Entrenar la red neuronal: La red neuronal analiza los datos de entrenamiento y ajustando los pesos de las conexiones entre las neuronas a través de un proceso conocido como propagación hacia atrás o backpropagation.
4. Validar la red neuronal: se utiliza el conjunto de datos de validación para evaluar el rendimiento de la red neuronal, esto permite detectar si la red neuronal se está sobreentrenando y así poder ajustar los parámetros si es necesario.
5. Evaluar el rendimiento: Una vez entrenada, la red neuronal se utiliza para clasificar imágenes desconocidas y se evalúa su rendimiento mediante métricas como la precisión.
6. Ajustar y volver a entrenar la red neuronal: si el rendimiento no es el esperado, se vuelven a ajustar los parámetros del paso 2 y repitiendo los pasos 3 y 4 hasta que se obtenga el rendimiento deseado.

3.3. Algoritmos de Mapeo y Localización

El mapeo y la localización de los robots aspiradores se realiza mediante el algoritmo SLAM, aunque aquellos que incorporan cámaras RGB y luz estructurada hacen uso del algoritmo VSLAM, Visual SLAM, similar al LiDAR SLAM, con la diferencia que hacen uso de técnicas de visión artificial en lugar de utilizar sensores laser LiDAR como su nombre indica.

El algoritmo de localización SLAM realiza el mapeo y la localización de forma simultánea, para que el resultado de SLAM sea bueno depende de dos componentes tecnológicos: en primer lugar, el hardware utilizado, es decir, el sensor que se emplea y el procesamiento de la señal de este sensor; y por otro lado, la optimización de los gráficos de posición, que no dependen del sensor, únicamente del programa. En la actualidad, debido a la gran evolución de los equipos informáticos, tanto el procesamiento como la optimización de gráfico son posibles ser realizados en tiempo real, además de poder ser adaptados en dispositivos pequeños y compactos como son los robots aspiradores.

3.3.1. LiDAR SLAM

El algoritmo LiDAR SLAM hace uso de nube de puntos generadas por los sensores láser ya explicados previamente. Debido a que la mayoría de robots aspiradores hace uso de este sensor y prescinden de cámaras, esta técnica es la más utilizada, aunque el resultado de este mapeo es únicamente un mapa en 2D a la altura del sensor con mucha precisión.

El empleo de esta técnica requiere de más sensores para poder realizar el mapeado, ya que se ha de tener en cuenta el movimiento del robot para ubicar los puntos en el mapa en función del desplazamiento de este.

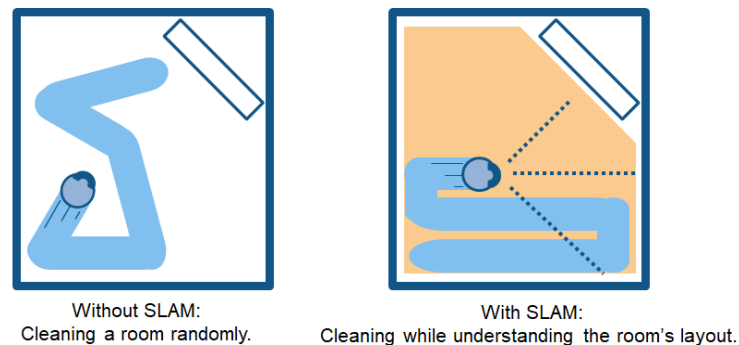


Figura 8: Algoritmo SLAM

3.3.2. VSLAM

Por otro lado, el algoritmo VSLAM, Visual SLAM, hace uso de la cámara simple del robot aspirador y de la luz estructurada 3D. El resultado de utilizar este algoritmo es la obtención de un mapa 3D de la vivienda, donde aparece con todo lujo de detalles los muebles y paredes de la casa. La principal desventaja de emplear este sistema es el tiempo de procesamiento, ya que resulta mucho más difícil y costoso el procesamiento de imágenes, a diferencia que en el caso anterior que desde el sensor se obtienen nubes de puntos.

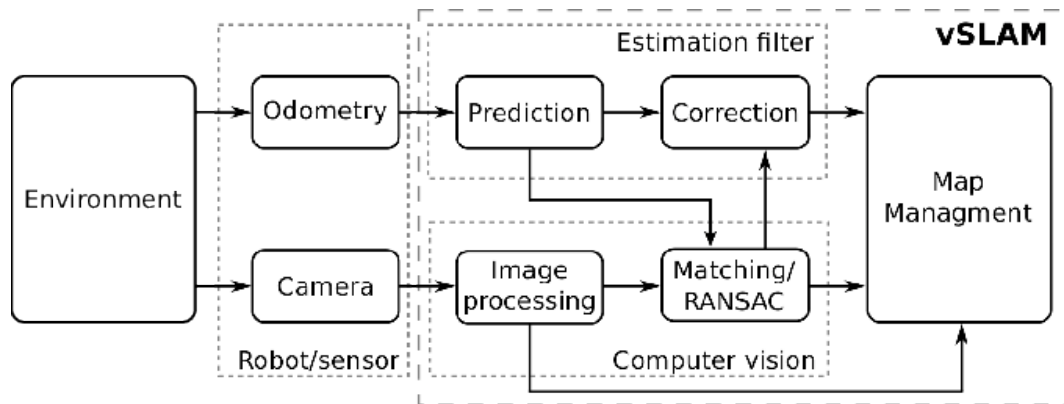


Figura 9: VSLAM

Existen empresas que están innovando en este ámbito y un claro ejemplo de ello es la empresa XIAOMI, la cual calcula la trayectoria a seguir mediante inteligencia artificial para así tomar siempre el mejor camino.

Referencias

- [1] <https://eversoc.com/blog/que-es-el-mapeo-en-un-aspirador-robot-n55>
- [2] <https://tucasaroborock.xataka.com/navegacion-laser-sensores-giroscopio-asi-como-robot-aspirador-mapea-casa/>
- [3] <https://www.teknofilo.com/como-se-orientan-los-robots-aspiradores-por-la-casa/>
- [4] <https://uavlatam.com/que-es-un-sensor-lidar-como-funciona/>
- [5] <https://ellisalicante.org/ia>
- [6] <https://newesc.com/dreame-l10s-ultra-review-en-espanol/>
- [7] <https://uavlatam.com/que-es-un-sensor-lidar-como-funciona/>
- [8] <https://www.artec3d.com/es/learning-center/structured-light-3d-scanning>
- [9] <https://aws.amazon.com/es/what-is/neural-network/>
- [10] <https://es.mathworks.com/discovery/slam.html>
- [11] <http://hdl.handle.net/10251/174353>
- [12] <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/29021?locale-attribute=es>